

И Ф В Э

О П 73-7

**В.А.Машеев, А.В.Самойлов, Ю.М.Сапунов,
В.П.Сахаров, А.М.Фролов**
(Институт физики высоких энергий)
И.М.Граменицкий, В.П.Руковичкин, М.Д.Шафранов
(Объединенный институт ядерных исследований)

**ПУЧОК ПРОТОНОВ ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ
ЖИДКОВОДОРОДНОЙ КАМЕРЫ "ЛЮДМИЛА"**

Маишеев В.А., Самойлов А.В., Сапунов Ю.М., Сахаров В.П.,
Фролов А.М., Граменицкий И.М., Руквичкин В.П.,
Шафранов М.Д.

Пучок протонов для облучения жидководородной камеры "Людмила".
Серпухов, 1973.

24 стр. с рис. (ИФВЭ ОП 73-7)

Библиогр, 21.

В работе представлены расчётные и экспериментальные характеристики пучка рассеянных на внутренней мишени первичных протонов с импульсом ~ 36 Гэв/с, полученного на ускорителе ИФВЭ для облучения 2-метровой жидководородной камеры ОИЯИ "Людмила".

Препринт Института физики высоких энергий.
Серпухов, 1973.

Maisheev V.A., Samoylov A.V., Sapunov Yu.M., Sakharov V.P.,
Frolov A.M., Gramenitzky I.M., Rukovichkin V.P.,
Shafranov M.D.

Proton Beam for Hydrogen Bubble Chamber "Ludmila".
Serpukhov, 1973.

p. 24. (ИФЭР 73-7).

Ref. 21.

The calculated and experimental characteristics of primary proton beam with the momentum ~ 36 GeV/c, scattered onto internal target of the IHEP accelerator for irradiating 2-meter JINR hydrogen bubble chamber "Ludmila" are given in the paper.

Preprint. Institute of High Energy Physics.
Serpukhov, 1973.

**В.А.Маишеев, А.В.Самойлов, Ю.М.Сапунов,
В.П.Сахаров, А.М.Фролов**
(Институт физики высоких энергий)
И.М.Граменицкий, В.П.Руковички, М.Д.Шафранов
(Объединенный институт ядерных исследований)

**ПУЧОК ПРОТОНОВ ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ
ЖИДКОВОДОРОДНОЙ КАМЕРЫ "ЛЮДМИЛА"**

M - 24

В в е д е н и е

Для облучения 2-метровой жидководородной камеры ОИЯИ "Людмила" /1/ в пучках вторичных сепарированных частиц на протонном синхротроне с энергией 70 Гэв в ИФВЭ создан специальный магнитный канал-канал № 9 - с высокочастотным сепаратором частиц по массам. В канале могут быть получены чистые пучки π^{\pm} , K^{\pm} - мезонов, протонов и антипротонов с импульсами в интервале $\sim 10-25$ Гэв/с. Оптическая система канала /2/ и сепаратор /3/ спроектированы для совместной работы с быстрым (≤ 5 мксек) выводом пучка первичных протонов из ускорителя на направление С /4/ в экспериментальном зале. Генерация вторичных частиц в этом случае осуществляется на внешней мишени. План расположения оборудования канала в экспериментальных помещениях изображен на рис. 1. Характеристики используемых в канале отклоняющих магнитов и квадрупольных линз подробно представлены в работе /5/, а другие элементы канала (дистанционно управляемые коллиматоры, пучковый за-

твор, вакуумная система, система управления) кратко описаны в работе ^{/6/}. Предельные эксплуатационные режимы магнитного оборудования при выборе соответствующей оптической схемы в принципе позволяют расширить экспериментальные возможности канала ^{/2,7/}.

Ниже описываются характеристики пучка рассеянных первичных протонов с импульсом ~ 36 Гэв/с, полученного в канале № 9 для облучения жидководородной камеры "Людмила". Ранее аналогичный пучок ^{/10/} протонов с импульсом 69 Гэв/с был создан для облучения 4,5-метровой жидководородной французской камеры "Мирабель", установленной на ускорителе ИФВЭ. Основные вопросы, связанные с выводами из ускорителя ИФВЭ пучков рассеянных на внутренних мишенях первичных протонов рассмотрены в работе ^{/11/}.

1. Генерация и вывод из ускорителя пучка рассеянных протонов

В качестве рассеивателей ускоренного протонного пучка в канал № 9 оказалось возможным использовать любую из внутренних мишеней T_1 , T_2 или T_3 (рис. 2), установленных в магнитном блоке № 27 ускорителя для генерации отрицательно заряженных адронов в существующий канал № 4 ^{/12/}. Эти мишени расположены, соответственно, на азимутальных расстояниях 2,26, 2,98 и 3,66 м от входного среза блока № 27 по железу в направлении циркуляции первичных протонов. Траектории и параметры фокусировки (в линейном приближении) рассеянных протонов в магнитном поле ускорителя рассчитывались на ЭВМ ^{/13/} с использованием экспериментальной топографии поля ^{/21/}.

Импульс рассеянных протонов p_i , угол рассеяния θ_i и радиальное положение мишени-рассеивателя r_i относительно теоретической равновесной орбиты в ускорителе рассчитаны с учётом угла наведения пучка ускоренных протонов на мишень и потерь импульса протонами в веществе мишени ($i = 1, 2$ или 3 соответственно рассматриваемой мишени).

Первичный протон с равновесным импульсом p_s до рассеяния испытывает ионизационные потери импульса Δ_1 в мишени, равные

$$\Delta_1 \approx (dp/d\ell)_{p_s} \cdot k\ell, \quad (1)$$

где ℓ — длина мишени, $(dp/d\ell)_{p_s}$ — удельные ионизационные потери импульса первичным протоном, k — средняя кратность прохождения протона через мишень до столкновения с ядром при быстром сбросе протонного пучка на мишень. При рассеянии на угол θ протон с импульсом $p^* = p_s - \Delta_1$ теряет импульс Δ_2 на столкновение. В рассматриваемых случаях, когда $\theta \ll 1$ и $(p^* \theta)^2 \gg 0,06$ (Гэв/с)², теряемый импульс определяется соотношением

$$\Delta_2 \approx (p^* \theta)^2 / 2mc, \quad (2)$$

где m — масса покоя нуклона. При вылете рассеянного протона из мишени происходят дополнительные ионизационные потери импульса Δ_3 :

$$\Delta_3 \approx (dp/d\ell)_{p^* - \Delta_2} \cdot \ell/2. \quad (3)$$

Таким образом, вылетевший из мишени рассеянный протон будет иметь импульс:

$$p_{el} \approx p_s - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3). \quad (4)$$

Рассеяние протонов осуществлялось на промежуточном "столе" магнитного поля ускорителя. При этом поле на равновесной орбите имело значение $H_0 = 6140$ эрстед. Для средних полей в ускорителе импульс циркулирующих около равновесной орбиты протонов достаточно корректно определяется известным соотношением:

$$p_s \text{ (эв/с) } = 300 H_0 R_0 \text{ (э.см)}, \quad (5)$$

где радиус теоретической равновесной орбиты $R_0 = 19412,5$ см. Для указанного значения поля равновесный импульс протонов равен $p_s = 35,76$ Гэв/с.

На рис. 3 представлена зависимость $p_{el}(\theta)$, рассчитанная для использовавшихся алюминиевых мишеней $\phi 2 \times 20 \text{ мм}^2$ и значений $p_s = 35,76 \text{ ГэВ/с}$, $(dp/dl) \approx 2 \text{ МэВ} \cdot \text{с}^{-1} \text{ см}^2 \cdot \Gamma^{-1}$, $k = 2$. На том же рисунке для мишеней T_1 , T_2 и T_3 приведены зависимости радиального положения мишени r_i и горизонтального угла генерации θ_i положительных частиц в функции их импульса p . Эти зависимости рассчитаны при условии вывода частиц из ускорителя на направление С. Угол генерации определяется разностью тангенциальных (относительно равновесной орбиты) угла вылета частицы из мишени и угла наведения ускоренного протонного пучка на мишень ($\sim +0,3$ мрад в магнитном блоке № 27^{/20/}). Значение $r > 0$ соответствует смещению мишени относительно равновесной орбиты в направлении радиуса её кривизны. Угол рассеяния θ_i и импульс p_i рассеянного на i -ой мишени протона, выведенного на направление С, должны удовлетворять условию

$$\theta(p_{el}) = \theta_i(p_i = p_{el}). \quad (6)$$

Радиальное положение i -ой мишени в этом случае есть $r_i(p_i)$. Рассчитанные таким образом параметры рассеяния имеют значения:

<u>мишень</u>	<u>p_i, ГэВ/с</u>	<u>θ_i, мрад</u>	<u>r_i, мм</u>
T_1	35,69	8,8	-47
T_2	35,70	8,3	-39
T_3	35,71	8,0	-33

Приведенные в таблице импульсы и углы рассеяния соответствуют центральным траекториям пучков с мишеней.

Разброс импульсов ускоренных протонов при уровне магнитного поля на равновесной орбите $H_0 = 6140 \text{ э}$ составляет $\Delta p_s/p_s \approx \pm 6 \cdot 10^{-4/14}$. Неповторяемость "стола" магнитного поля в циклах ускорения $\Delta H/H_0 \approx \pm 4 \cdot 10^{-4}$ приводит к такой же относительной неповторяемости импульса p_i . Флуктуации кратности прохождения первичного протона через ми-

шень $\Delta k \sim \pm 1$ обуславливают разброс ионизационных потерь импульса $\Delta p_i / p_i \approx \pm 3 \cdot 10^{-4}$. Захват в канал протонов, рассеянных в интервале углов $\Delta \theta_i \leq \pm 0,5$ мрад, приводит к импульсному разбросу $\Delta p_i / p_i \leq \pm 1,5 \cdot 10^{-4}$. Различие ионизационных потерь импульса рассеянными протонами в мишенях $\Delta p_i / p_i \approx \pm 1,5 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, полный среднеквадратичный относительный разброс импульсов протонов в канале составляет $(\Delta p_i / p_i)_{\text{полн.}} \approx \pm 8 \cdot 10^{-4}$. Неопределенности рассчитанных параметров рассеяния, обусловленные погрешностями измерений топографии магнитного поля ускорителя, могут быть оценены следующим образом. Трассы рассеянных в мишенях T_1, T_2, T_3 протонов большей частью проходят в полях (рис. 2), измеренных с погрешностями $\sim \pm 0,5\%$ ^{/21/}. На рис. 3 такие малые погрешности соответствуют параллельным переносам кривых $\theta_i(\rho)$ и $r_i(\rho)$ вдоль оси ρ на величины $\sim \pm 0,005 \rho$. Знак переноса соответствует знаку погрешности измерения поля. Смещенные параметры рассеяния легко определяются вышеописанным способом и дают значения неопределенностей $\delta p_i \approx \pm 0,003$ Гэв/с, $\delta \theta_i \approx \pm 2$ мрад, $\delta r_i \approx \pm 34$ мм.

Рассеянные в мишенях T_1, T_2, T_3 протонные пучки фокусируются магнитным полем ускорителя в вертикальной плоскости и дефокусируются в горизонтальной плоскости. Виртуальные источники частиц расположены на расстояниях ~ 54 и ~ 46 м перед первым апертурным коллиматором K_1 канала № 9 в вертикальной и горизонтальной плоскостях (рис. 1 и 4). В этих плоскостях коэффициенты линейного увеличения при переходе от мишеней к виртуальным источникам составляют $\sim -0,35$ и $\sim 0,04$ соответственно. Линейные поперечные дисперсии виртуальных источников в горизонтальной плоскости в случаях рассматриваемых мишеней малы $\eta_i \sim -0,23$ см, а угловые дисперсии выведенных из ускорителя положительно заряженных частиц составляют $\varphi_i \sim 40$ мрад для относительных изменений импульса $\Delta p_i / p_i = 1\%$ ($\eta > 0$ и $\varphi > 0$ при линейном смещении и угловом отклонении в сторону внешних областей магнитного кольца ускорителя). Для мишеней диаметром ϕ 2 мм без учёта абerra-

ций пучков в поле ускорителя размеры виртуальных источников в вертикальной и горизонтальной плоскостях должны составить $\sim 0,70$ и $\sim 0,08$ мм, соответственно.

Использование растянутого во времени ($\tau \sim 300$ мсек/имп) сброса первичных протонов на внутренние мишени позволило провести основные работы по настройке оптики канала на больших уровнях интенсивности рассеянного пучка. Плотность потока рассеянных в i -ой мишени протонов можно оценить из соотношения ^{/11,15/}

$$\frac{dN_1}{d\Omega} \simeq 1,6 A^{1/3} \cdot \left(\frac{p_s \sigma_t^{p-p}}{4\pi\hbar} \right)^2 \cdot \exp(-10 p_s^2 \theta_1^2) \cdot \frac{\epsilon}{\sigma_t^{p-A}} \quad (7)$$

при $\theta_1 \ll 1$ и $(p_s \theta_1)^2 \geq 0,06$ (Гэв/с)²,

где Ω – телесный угол (стерад), $dN_1/d\Omega$ – число рассеянных протонов на 1 стерад и ускоренный протон, A – атомный номер ядра мишени, σ_t^{p-p} – полное сечение $p-p$ взаимодействия (см²), p_s – импульс первичного протона (Гэв/с), θ_1 – угол рассеяния в л.с. (рад), ϵ – эффективность взаимодействия ускоренного протонного пучка с мишенью, σ_t^{p-A} – полное сечение взаимодействия протона с ядром (см²). Положив в формуле (7) значения $A_{Al} = 27$, $p_s = 35,69$ Гэв/с, $\sigma_t^{p-p} = 38,5 \cdot 10^{-27}$ см² (см. работу ^{/16/}), $\theta_1 = 8,8 \cdot 10^{-3}$ рад, $\sigma_t^{p-Al} = 611 \cdot 10^{-27}$ см² (оценка С.П.Денисова и др., ИФВЭ), $\hbar = 6,58 \cdot 10^{-25}$ Гэв·сек, $\epsilon = 0,4$ (см. работу ^{/17/}), получим для плотности потока T_1 протонов, рассеянных в мишени T_1 в канал № 9, значение $dN_1/d\Omega \simeq 64$ частицы/стерад на 1 ускоренный протон.

II. Формирование пучка рассеянных протонов и дозировка числа частиц на пузырьковую камеру

Для формирования выведенного из ускорителя пучка рассеянных протонов на базе существующего оборудования канала № 9 была выбрана наиболее простая и экономичная оптическая схема (рис. 4). Ограни-

ченный коллиматорами $K_1 - K_5$ пучок с помощью дублета квадрупольных линз $Q_{10} - Q_{11}$ фокусировался на коллиматорах K_7 и K_8 в горизонтальной и вертикальной плоскостях, соответственно. Тип фокусировки этого дублета - ФД в горизонтальной плоскости. Магнитный анализ пучка осуществлялся отклоняющими магнитами M_1 и M_2 в горизонтальной плоскости. В этой плоскости изображение на коллиматоре K_7 линейно диспергировано по импульсу частиц, и, следовательно, раскрытие коллиматора определяет импульсный интервал $p_i \pm \Delta p_i$ пропускаемых далее пучковых частиц. Предварительное выделение частиц по импульсу имеет место на коллиматоре K_4 . Отклоняющий магнит M_3 доворачивает пучок на жидководородную камеру ВС. Квадрупольная линза Q_{17} , дефокусирующая в горизонтальной плоскости, использовалась для управления размерами пучка на камере ВС. Функции коллиматоров K_9 и K_{10} сводились лишь к защите камеры ВС от возможного фона низкоэнергетичных частиц. Высокочастотные дефлекторы $D_1 - D_3$ и пучковый поглотитель S_2 убирались с трассы пучка.

Для облучения пузырьковой камеры требуется лишь 5-10 частиц в импульсе длительностью $\tau \leq 500$ мксек. Для этих целей использовалась система быстрого сброса ускоренного протонного пучка на мишень /8, 9, 10/ на "столе" магнитного поля в ускорителе и установленный в канале кикер-магнит ИМ (рис. 4). Отвод ускоренных протонов с мишени осуществлялся импульсом совпадения от сцинтилляционных счётчиков $C_1 - C_3$ в канале, а кикер-магнит включался сигналом совпадения от сцинтилляционных счётчиков $C_4 - C_5$, которые были установлены вблизи пузырьковой камеры и перекрывали апертуру её входного окна (рис. 4).

Кикер-магнит с системой питания, управления и т.д. /18, 19/ был разработан и изготовлен в ОИЯИ. Каркас кикер-магнита, на котором установлены две плоскопараллельные токовые катушки, изготовлен в виде отрезка трубы длиной $L \approx 65$ см с внутренним диаметром $\phi \sim 80$ мм из электроизоляционного материала и может быть соединен с ионопро-

водом канала. Радиус области однородного в пределах нескольких процентов магнитного поля кикер-магнита составляет $\phi \sim 40$ мм. Импульс тока (поля) в кикер-магните имел фронт нарастания ~ 20 мксек и полную длительность ~ 2 мсек (рис. 8в). Эффективная отклоняющая сила кикер-магнита $(HL)_{\text{эф.}} \approx 70$ кэ·см. Импульс тока подавался в кикер-магнит, когда счётчики C_4 - C_5 отсчитывали определенное число частиц в цикле ускорения. В этом случае пучок частиц отклонялся кикер-магнитом вертикально вниз и удерживался в отклоненном состоянии в течение времени, достаточного для отвода ускоренных протонов с мишени. Поглощение отклоненного пучка осуществлялось нижней щекой коллиматора K_8 в канале (рис. 4). Кикер-магнит, ввиду конечного времени нарастания в нем фронта импульса тока (поля), должен включаться раньше момента прохождения через пузырьковую камеру желаемого числа частиц.

Пучок рассеянных протонов до ввода в канал проходит в апертуре магнитного оборудования системы FE быстрого вывода C и коллимирующего отверстия в бетонной стене W_1 (рис. 1). Однако это обстоятельство не ограничивает пропускную способность канала. Максимальные горизонтальный и вертикальный угловые аксептансы канала для виртуальных источников составляют $\sim \pm 0,5$ мрад. Это соответствует максимальному телесному углу захвата протонов с мишени $\Omega \sim 1,4 \cdot 10^{-2}$ мкстер и их потоку в канале $\sim 10^5$ р/цикл при медленном сбросе на мишень 10^{11} ускоренных протонов.

Коэффициенты линейного увеличения размеров виртуальных источников в изображениях, формируемых объективом Q_{10} - Q_{11} на коллиматорах K_7 и K_8 (рис. 4), составляют соответственно $\sim 0,54$ и $\sim 0,30$ для центрального значения импульса. Линейная дисперсия изображения на коллиматоре K_7 равна 42 мм для $\Delta p_i / p_i = 1\%$. С учётом начальной угловой расходимости пучка в канале и хроматических aberrаций в квадрупольных линзах расчётные размеры изображений по основаниям профилей составляют ~ 8 мм на коллиматоре K_7 и ~ 3 мм на коллиматоре K_8 .

Вертикальное смещение изображения на коллиматоре K_8 , соответствующее отклоняющей силе кикер-магнита, составляет ~ 20 мм. Расчётные размеры пучка на входе в пузырьковую камеру при включенной линзе Q_{17} (рис. 4) ~ 120 и ~ 20 мм (по основаниям профилей) в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а соответствующие угловые расходимости пучка $\sim \pm 0,5$ и $\sim \pm 0,2$ мрад. Указанные характеристики пучка не учитывают его аберраций в магнитном поле ускорителя. Протяженность пучка от ускорителя до пузырьковой камеры составляет ~ 230 м, причём на большей длине канала пучок транспортируется в вакууме.

III. Экспериментальные характеристики пучка протонов в канале

Экспериментальные характеристики протонных пучков в канале № 9 мало отличаются в случаях использования мишеней $T_1 - T_3$. Представленные ниже результаты относятся к пучку, полученному с мишени T_1 . Ввиду того, что импульс рассеянных в канал протонов практически определяется известной с большой точностью конечной энергией их ускорения, оптимальная настройка канала была проведена при соответствующем этому импульсу режиме магнита M_2 для выделенного коллиматорами K_2 и K_4 приосевого пучка. Рабочие раскрытия коллиматоров указаны на рис. 6. Магнит M_1 настраивался на максимальный поток частиц $N_{C_1 C_2 C_3}$ в канале, магнитом M_3 пучок был введен в заданную область рабочего объема пузырьковой камеры. Режимы линз настроенного объектива согласуются с расчётными в пределах 1–2%. Профили пучка исследовались с помощью подвижных дистанционно управляемых "пальцевых" сцинтилляционных счётчиков, обеспечивающих пространственное разрешение 5 мм (на рис. 4 не показаны). Коллиматоры K_1, K_3, K_5 и K_6 использовались для обрезания "хвостов" вертикальных профилей пучка перед кикер-магнитом IM и на коллиматоре K_8 .

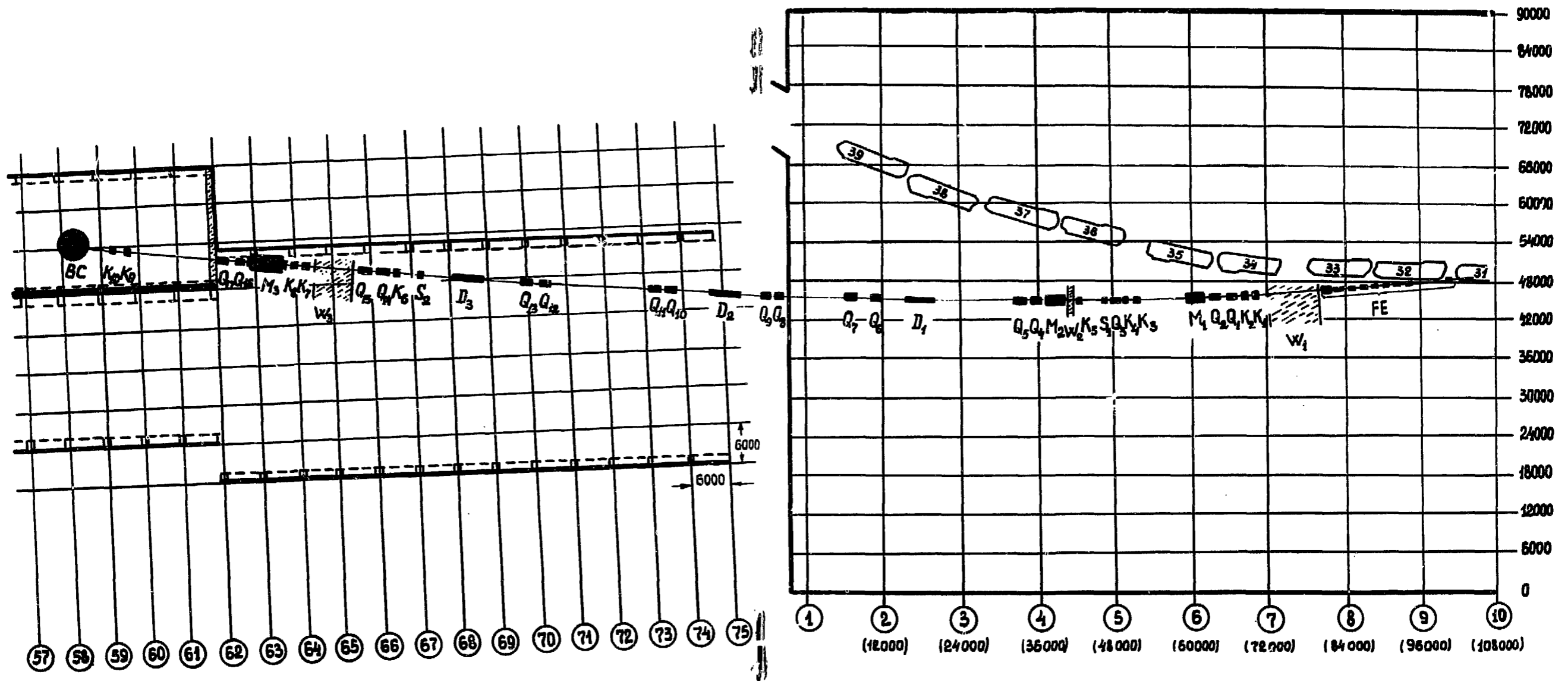


Рис. 1. План размещения оборудования канала № 9 в экспериментальных помещениях на ускорителе ИФВЭ: FE- оборудование системы быстрого протонного вывода С; W- бетонная защита; K_1, K_3, K_5, K_6, K_8 - коллиматоры К-75 с горизонтальной щелью; $K_2, K_4, K_7, K_9, K_{10}$ - коллиматоры К-75 с вертикальной щелью; M_1, M_2 - отклоняющие магниты СП-129; M_3 - отклоняющий магнит СП-12А-1; $Q_1 - Q_{17}$ - квадрупольные линзы 20К200; $D_1 - D_3$ - высокочастотные дефлекторы; S_1 - пучковый затвор; S_2 - пучковый поглотитель сепаратора; BC - жидководородная камера. (Расстояния между разбивочными строительными осями в мм).

Потоки частиц в настроенном канале, наблюдавшиеся при режиме растянутого во времени (~ 300 мсек) сброса ускоренных протонов на мишень, хорошо согласуются с рассчитанными. Эти потоки получены при экспериментально найденном радиальном положении мишени в ускорителе $r_1 \approx -47$ мм, также соответствующем рассчитанному значению (рис. 5). Постоянство потока частиц в канале при изменении радиального положения мишени в пределах $r_1 \sim (-40) + (-55)$ мм указывает на значительные aberrации пучка рассеянных протонов в магнитном поле ускорителя и возможном попадании в канал квазиупруго рассеянных протонов в импульсном интервале $\Delta p_1/p_1 \approx \pm 0,25\%$ (см. рис. 3). Несмещенный по высоте пучок и максимальный поток частиц в канале имели место при вертикальной координате положения мишени $z_1 \approx +2$ мм относительно геометрической медианной плоскости ускорителя (рис. 5). Этот факт объясняется тем, что оптическая ось канала в вертикальном плане была совмещена с геометрической медианной плоскостью ускорителя, не совпадающей с магнитной медианной поверхностью в области установки мишени.

Острота настройки отклоняющих магнитов канала иллюстрируется рис. 6. Значения токов в магнитах I_{M_1} и I_{M_3} , соответствующих выделенному приосевому пучку в канале, отличаются от рассчитанных в пределах $\sim 2\%$. Такое отличие не превышает суммарную погрешность экспериментальной калибровки отклоняющих магнитов и калибровки токовых измерительных шунтов. Данные рис. 6а указывают на тот факт, что в канале на участке до коллиматора K_7 могут присутствовать частицы с импульсами, значения которых концентрируются в интервале $\Delta p_1/p_1 \approx \pm 2\%$. Однако более определенного заключения об импульсном составе реального пучка по этим данным сделать невозможно.

Экспериментальные профили пучка в канале представлены на рис. 7. Рис. 7а, б показывают, что размеры пучка в кикер-магните хорошо согласованы с его рабочей апертурой. Профиль пучка на коллиматоре K_7 , осуществляющем основное выделение частиц по импульсу, имеет ширину

на полувысоте 20 мм и ширину в основании ~ 40 мм (рис. 7в). Раскрытие щек коллиматора K_7 было выбрано ± 20 мм. Таким образом, при линейной дисперсии на этом коллиматоре 42 мм на $\Delta p_1 / p_1 = 1\%$, можно утверждать, что облучающие пузырьковую камеру частицы имеют средне-квадратичный разброс по импульсам, не превышающий $\Delta p_1 / p_1 = \pm 0,25\%$.

Максимальный разброс частиц по импульсам не превышает $(\Delta p_1 / p_1)_{\text{макс.}} = \pm 0,5\%$. Особенно тщательно был сформирован вертикальный профиль неотклоненного пучка на коллиматоре K_8 . Профиль имеет крутые "склоны", ширину на полувысоте 10 мм и ширину в основании 20 мм (рис. 7г). На рис. 7д, е представлены профили пучка у пузырьковой камеры. С помощью линзы Q_{17} удалось удачно согласовать размеры пучка с размерами входного окна пузырьковой камеры (горизонталь \times вертикаль $\approx 120 \times 40$ мм²).

Работа системы быстрого наведения ускоренного протонного пучка на мишень и работа кикер-магнита иллюстрируются экспериментальными данными, представленными на рис. 8. Рис. 8а показывает, что основной сброс протонного пучка на мишень осуществляется за время $\tau \sim 700$ мксек. При этом отвод ускоренных протонов от мишени осуществлялся 4-й частицей в канале. Такая дозировка короткого сброса обеспечивала как малую частоту появления циклов ускорения с количеством частиц в канале меньшим 10, так и незначительную плотность частиц во время нарастания фронта тока (поля) в кикер-магните. Последнее обстоятельство важно для уменьшения частоты появления циклов с количеством частиц в пузырьковой камере большим 10. Распределение числа циклов ускорения по количеству частиц в канале за цикл для указанной дозировки короткого сброса при включенном кикер-магните представлено на рис. 8б. Среднее число частиц в канале за цикл составляло 25. Рис. 8г, д иллюстрируют работу кикер-магнита. Кикер-магнит в соответствии с расчётом обеспечивает вертикальное линейное отклонение пучка на коллиматоре K_8 равное 20 мм, т.е. смещает пучок на его полный

размер (см. рис. 7г). Найденное экспериментально оптимальное раскрытие щек коллиматора K_8 составляло ± 4 мм относительно оптической оси канала.

Различные режимы дозировки пучка по числу частиц в пузырьковой камере за цикл ускорения при совместной работе системы быстрого сброса ускоренных протонов на мишень и кикер-магнита иллюстрируются рис. 9. Рабочие облучения пузырьковой камеры проводились при режиме отвода ускоренных протонов от мишени 4-й частицей в канале и при включении кикер-магнита 4-7-й частицами на входе в камеру (рис. 9 в, г). Эти облучения позволили провести комплексную технологическую наладку всех систем пузырьковой камеры и начать физические исследования с помощью этого современного трекового прибора.

В заключение авторы выражают признательность дирекциям ИФВЭ и ЛВЭ ОИЯИ за поддержку настоящей работы, а также выражают глубокую благодарность сотрудникам службы эксплуатации отдела пучков и сотрудникам сектора кольцевого ускорителя ИФВЭ, осуществившим наладку и обеспечившим нормальную работу оборудования канала и систем сброса ускоренного протонного пучка на мишени. Авторы благодарят сотрудников ЛВЭ ОИЯИ, изготовивших кикер-магнит и обеспечивших его наладку и эксплуатацию, а также сотрудников, оказавших помощь при наладке канала.

Л и т е р а т у р а

1. И.В.Богуславский и др. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер. Препринт ОИЯИ 13-4466, Дубна, 1969, стр. 43.
2. А.В.Самойлов и др. Труды II Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. II, М., "Наука", 1972, стр. 190.
3. В.М.Левин и др. Труды II Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. II. М., "Наука", 1972, стр. 229.

4. К.П.Мызников и др. Препринт ИФВЭ 68-57, Серпухов, 1968.
5. А.В.Алексеев и др. Препринт ИФВЭ 68-62, Серпухов, 1968.
6. И.А.Александров и др. АЭ, 29, 29, 1970; препринт ИФВЭ 69-36, Серпухов, 1969.
7. А.М.Балдин и др. Препринт ОИЯИ-ФИАН-ИФВЭ P1-6212, Дубна, 1972.
8. В.И.Гридасов и др. Препринт ИФВЭ 70-84, Серпухов, 1970.
9. В.И.Гридасов и др. Труды 11 Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. 11. М., "Наука", 1972, стр. 184.
10. Н.А.Галяев и др. ЖТФ., 42, 1437 (1972); препринт ИФВЭ 71-111, Серпухов, 1971.
11. Ю.М.Сапунов, А.М.Фролов. Препринт ИФВЭ 68-69, Серпухов, 1968.
12. М.И.Грачев и др. ЖТФ, 41, 1812 (1971); препринт ИФВЭ 70-98, Серпухов, 1970.
13. В.В.Качанова и др. Препринт ИФВЭ 67-59, Серпухов, 1967.
14. В.И.Гридасов и др. Препринт ИФВЭ 70-58, Серпухов, 1970.
15. G. Bellettini et al.. Nucl. Phys., 79, 609, 1966.
16. Ю.П.Горин и др. Phys.Lett., 36B, 415, 1971; ЯФ, 14, 988, 1971; препринт ИФВЭ 71-49, Серпухов, 1971.
17. Ю.Б.Бушнин, Дж.В.Аллаби и др. Phys.Lett., 29B, 48, 1969; ЯФ, 10, 585, 1969; препринт ИФВЭ 69-18, Серпухов, 1969.
18. В.Ф.Сиколенко. Препринт ОИЯИ, 9-3378, Дубна, 1967.
19. В.Ф.Сиколенко. Препринт ОИЯИ 13-3252, Дубна, 1967.
20. В.И.Гридасов, К.П.Мызников. Препринт ИФВЭ 68-60, Серпухов, 1968.
21. Ю.С.Глухов и др. Препринт ИФВЭ 67-44, Серпухов, 1967.

Рукопись поступила в издательскую группу
15 января 1973 года.

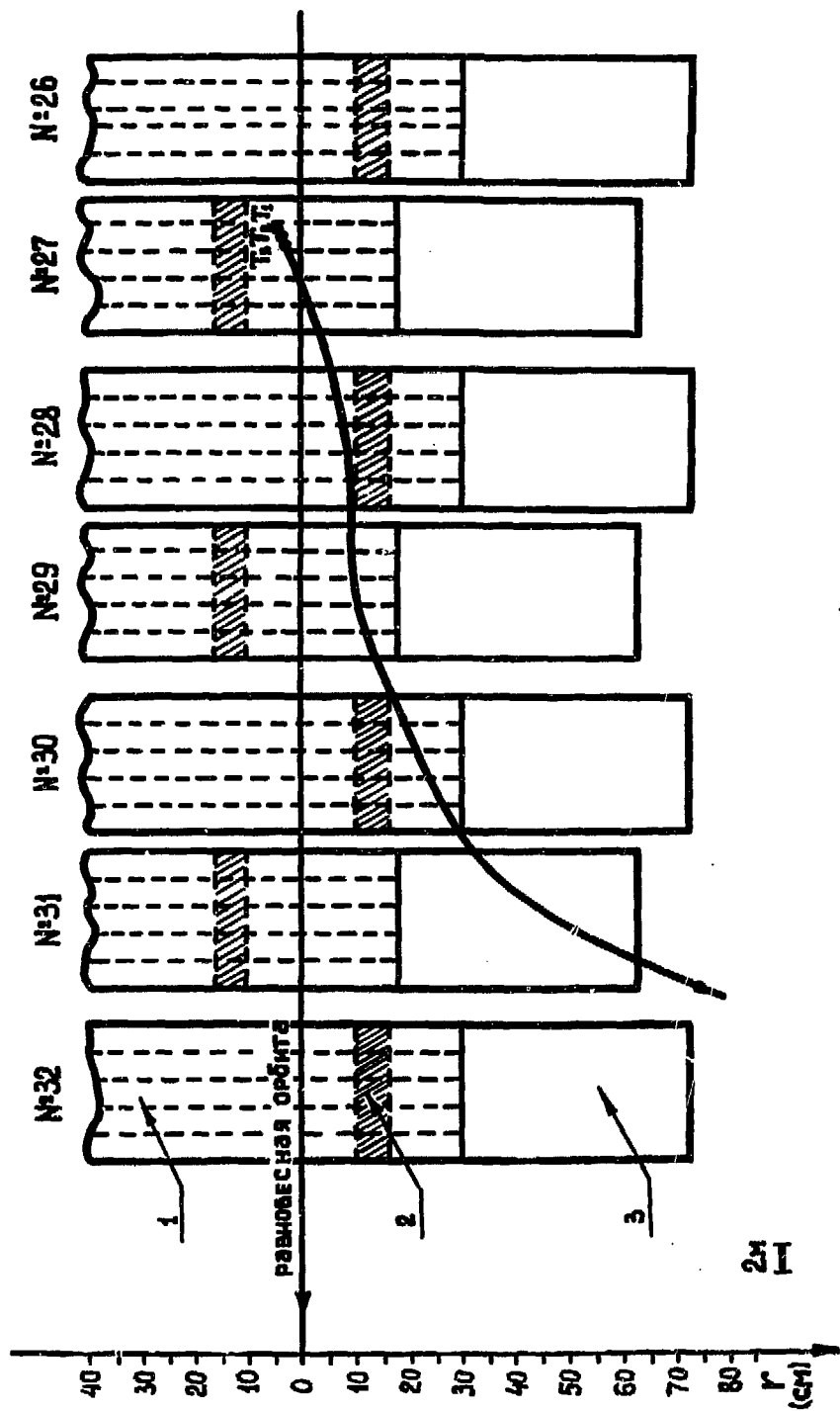


Рис. 2. Трасса вывода пучка рассеянных первичных протонов из ускорителя на направлении S в экспериментальном зале: 1) магнитные пакеты, 2) область сильно влинейного магнитного поля, 3) область токовых обмоток; T_1 - T_3 - мишени-рассеиватели.

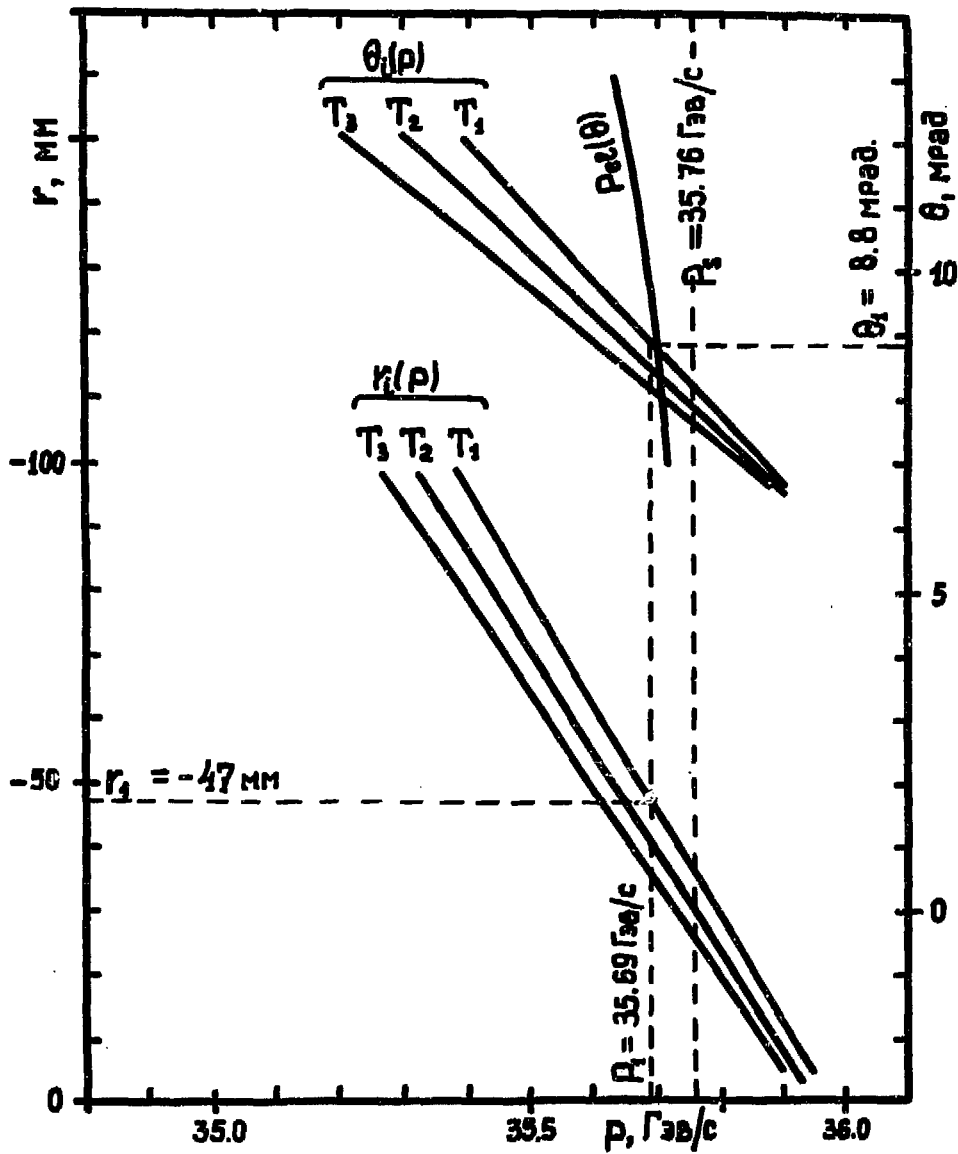


Рис. 9. К расчету параметров рассеяния пучков первичных протонов в канал № 9 (пояснения в тексте).

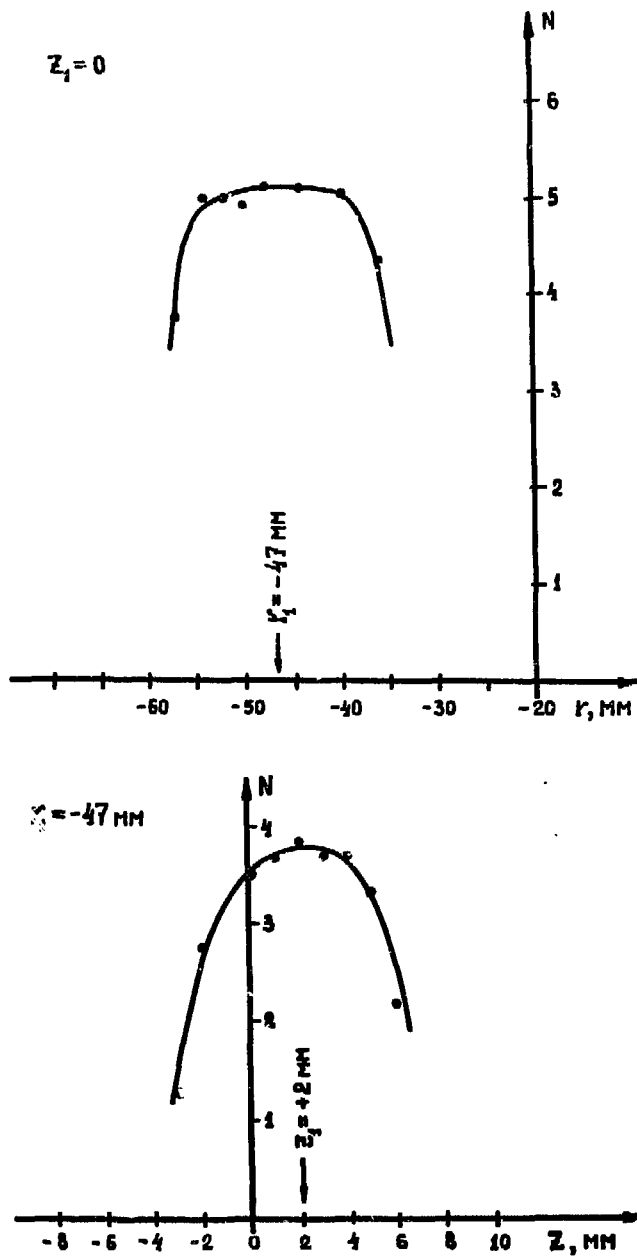


Рис. 5. Зависимости потока частиц в канале № 9 $N_{C_1 C_2 C_3}$ от радиального r и вертикального z положений мишени T_1 в ускорителе ($z > 0$ для смещения вертикально вверх относительно геометрической медианной плоскости ускорителя).

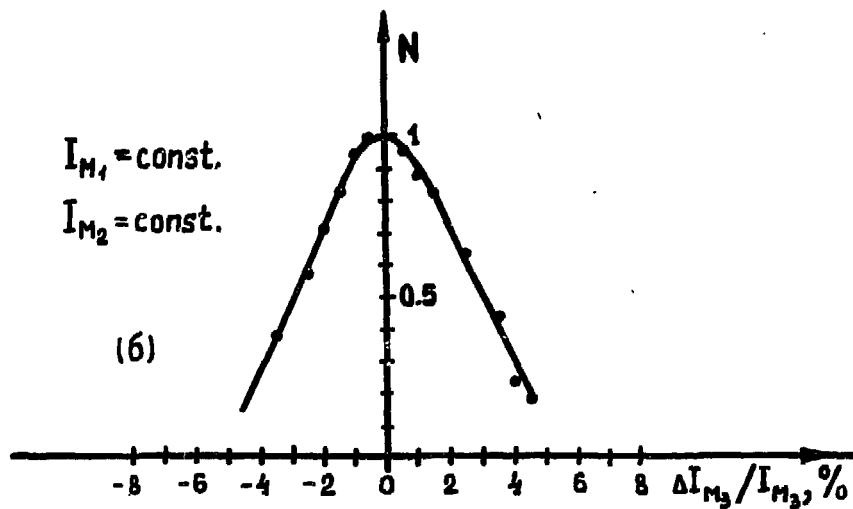
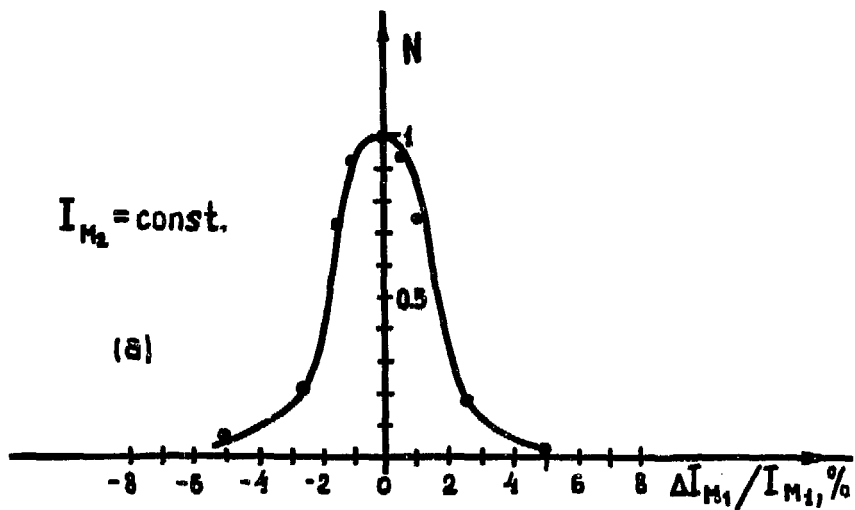


Рис. 6. Кривые настройки режимов отклоняющих магнитов канала № 9 при транспортировке пучка рассеянных протонов: (а) — зависимость потока частиц в канале $N_{C_1 C_2 C_3}$ от расстройки тока

I_{M_1} магнита M_1 ; (б) — зависимость потока частиц на оси канала перед пузырьковой камерой $N_{C_4 \Pi}$ от расстройки тока I_{M_3} магнита M_3 (Π — "пальцевый" счетчик со сцинтилятором 5 мм по горизонтали, мониторинг пучка телескопом $C_1 C_2 C_3$). Раскрытия щек коллиматоров $K_1-K_4 - \pm 10$ мм, $K_5 - \pm 7,5$ мм, $K_6 - \pm 12$ мм, $K_7 - \pm 20$ мм, $K_8 - \pm 4$ мм, $K_9-K_{10} - \pm 80$ мм.

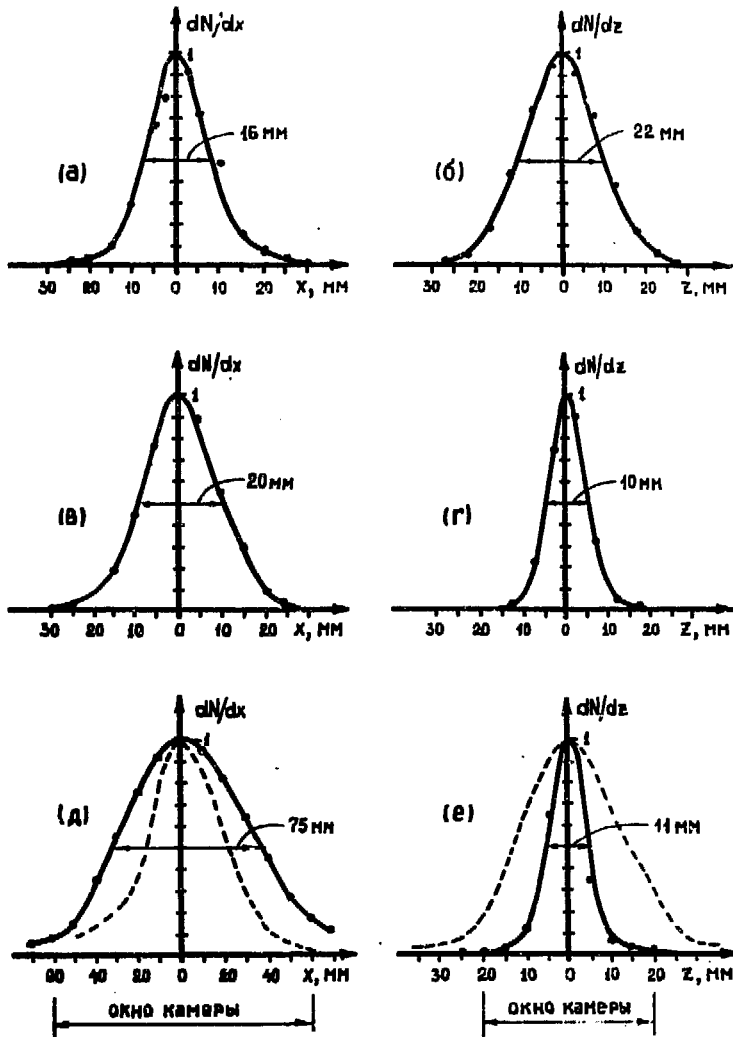


Рис. 7. Экспериментальные горизонтальный $dN(x)/dx$ и вертикальный $dN(z)/dz$ профили пучка в канале №9: (а) и (б) – перед кикер-магнитом, (в) – на коллиматоре K7, (г) – на коллиматоре K8, (д) и (е) – перед пузырьковой камерой с выключенной (пунктирная линия) и включенной (сплошная линия) линзой Q₁₇.

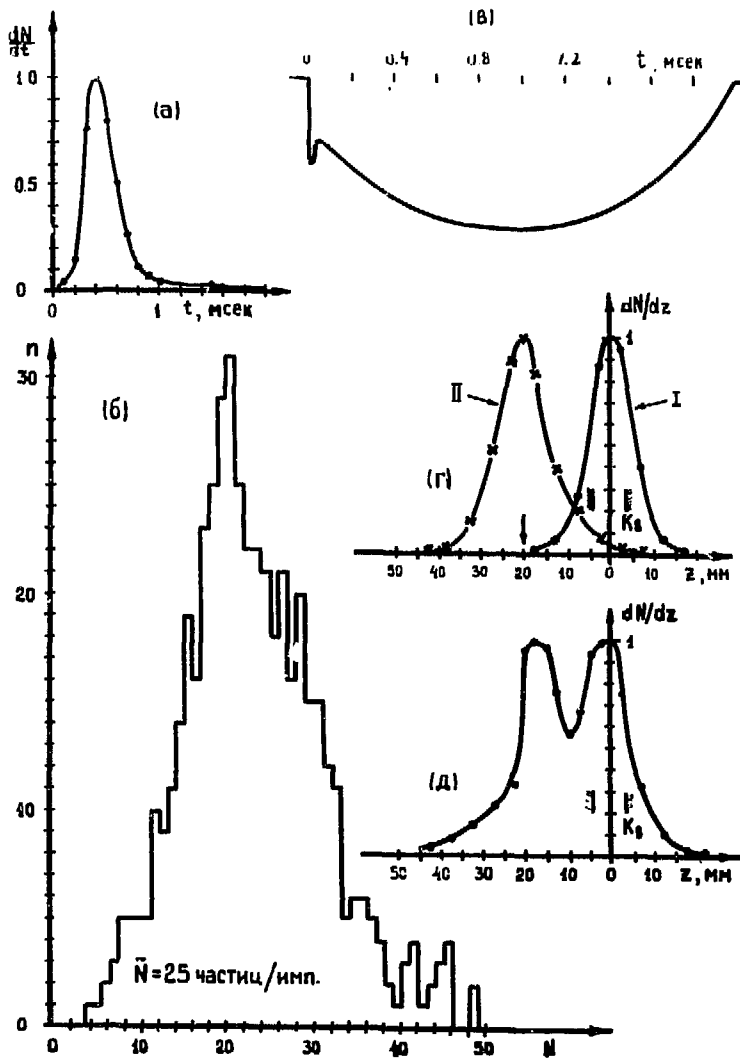


Рис. 8. Экспериментальные характеристики работы системы быстрого сброса ускоренного протонового пучка на мишень и работы кикер-магнита (отвод ускоренных протонов от мишени 4-й частицей в канале): (а) - распределение числа протонов за цикл ускорения в канале № 9 $dN_{C_1C_2C_3}/dt$ во времени t при работе системы быстрого сброса; (б) - частота появления циклов ускорения n с количеством протонов $N_{C_1C_2C_3}$ в канале № 9; (в) - форма импульса тока (магнитного поля) в кикер-магните во времени t ; (г) - вертикальный профиль неотклоненного (I) и отклоненного (II) кикер-магнитом протонового пучка на коллиматоре K_3 в канале № 9 (срабатывание кикер-магнита от 1-й частицы на входе в пузырьковую камеру); (д) - распределение числа частиц $dN_{C_1C_2C_3}/dz$ по вертикальной координате z на коллиматоре K_3 в канале № 9, усредненное во времени цикла ускорения при совместной работе системы быстрого сброса ускоренных протонов на мишень и кикер-магнита (срабатывание кикер-магнита от 4-й частицы на входе в пузырьковую камеру).

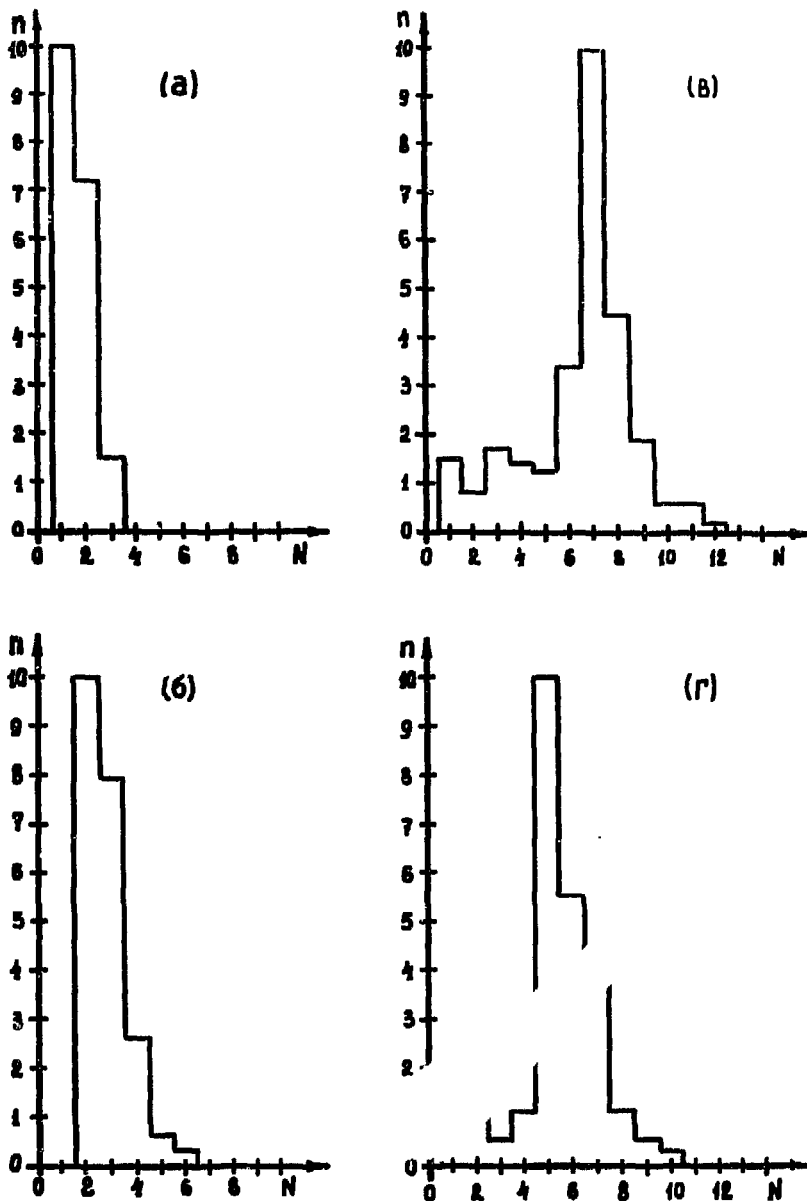


Рис. 9. Частота появления циклов ускорения n с количеством протонов $N_{C_4C_5}$ на входе в пузырьковую камеру при совместной работе системы быстрого сброса ускоренных протонов на мишень и кикер-магнита: (а) - отвод пучка от мишени 8-й частицей в канале, срабатывание кикер-магнита от 1-й частицы на входе в пузырьковую камеру; (б) - отвод пучка 8-й частицей, срабатывание кикер-магнита от 2-й частицы; (в) - отвод пучка 4-й частицей, срабатывание кикер-магнита от 7-й частицы; (г) - отвод пучка 4-й частицей, срабатывание кикер-магнита от 5-й частицы.

Цена 13 коп.

Издательская группа И Ф В Э
Заказ 115. Тираж 260. 1,1 уч.-изд. Т-01599.
Январь 1973. Редактор Н.В. Ежеле.